УДК 656.137:504.06 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-3-47-53

Контейнерные перевозки в урбанизированной среде с применением технологии «Интернет вещей»

А. А. Короткий, Н. Н. Николаев
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Рассматриваются аспекты применения технологии «Интернет вещей» в транспортной отрасли. Решается логистическая проблема перевозки пустых контейнеров. Представлена технология контейнерных перевозок в урбанизированной среде. Рассмотрено влияние предлагаемой технологии на экологическую безопасность перевозок в урбанизированной среде.
Постановка задачи. Задачей данного исследования является решение логистической проблемы перевозки пустых контейнеров на основе технологии «Интернет вещей» и оценка влияния разрабатываемой технологии на экологическую безопасность.
Теоретическая часть. В основе технологии лежит разрабатываемый умный контейнер. Он может автоматически складываться и раскладываться. Управляется через мобильное приложение. Также он позволяет удаленно отслеживать параметры перевозки грузов за счет встроенных датчиков. Снижение выбросов вредных веществ при сокращении количества непроизводительных пробегов транспорта в результате применения контейнеров-трансформеров оценивается по критериям снижения массового расхода вредных веществ.
Выводы. Новый пакет под названием SmarBoxCity является уникальным и не имеющим полных аналогов продуктом четвертой технической революции. Его внедрение позволяет получить повышение экологической безопасности перевозок за счет снижения эмиссии загрязняющих веществ на 18,2%.

Ключевые слова: «Интернет вещей», IoT, перевозка, город, мониторинг, контейнер, экологическая безопасность.

Для цитирования: Короткий, А. А. Контейнерные перевозки в урбанизированной среде с применением технологии «Интернет вещей» / А. А. Короткий, Н. Н. Николаев // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — № 3. — С. 47–53. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-3-47-53

Container transportation in the urbanized environment using the «Internet of things» technology

A. A. Korotkiy, N. N. Nikolaev
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The paper considers aspects of practical application of the “Internet of things” technology in the transport industry. The logistics problem of transporting empty containers is solved. The technology of container transportation in an urbanized environment is presented. The influence of the proposed technology on the environmental safety of transportation in the urban environment is considered.
Problem Statement. The purpose of this study is to solve the logistics problem of transporting empty containers using the “Internet of things” technology, and to estimate the technology influence on the environmental safety.
Theoretical Part. The technology is based on the smart container which is being developed. It can automatically fold and unfold and is controlled via a mobile app. It also allows you to remotely monitor the parameters of cargo transportation using built-in sensors. The reduction of harmful substances emissions while reducing the number of unproductive runs of transport as a result of the use of transformer containers is evaluated according to the criteria for reducing the mass consumption of harmful substances.
Conclusions. A new package product called "SmarBoxCity" is a unique and unparalleled product of the Fourth technical revolution. Its implementation makes it possible to improve the environmental safety of transport by reducing the emission of pollutants by 18.2 %.

Keywords: Internet of things, IoT, transportation, city, monitoring, container, environmental safety.

For citation: Korotkiy A. A., Nikolaev N. N. Container transportation in the urbanized environment using the «Internet of things» technology: Safety of Technogenic and Natural Systems. 2020;3: 47–53. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-3-47-53

Введение. В современном мире в условиях четвертой технологической революции присутствует жесткая конкуренция во всех сферах производства товаров и услуг. Вместе с этим современные технологии поднялись на совершенно не вообразимый ранее уровень, когда они позволяют реализовать сложные проекты людям, которые не являются узкими специалистами в области информационных технологий или робототехники, а всего лишь имеют идею, четкое (или не очень) представление, кто и зачем ее может купить. Кроме этого, нужны некоторые навыки в освоении технических новшеств и при необходимости поиска команды специалистов. И все получится, причем не через многие годы, а очень скоро. Мир развивается очень быстро и не будет ждать. Рассмотрим одну из важнейших проблем в области транспорта и пути ее решения с применением технологии InternetofThings (IoT), или «Интернет вещей».

Постановка задачи. Логистическая проблема, связанная с перевозкой пустых грузовых контейнеров в качестве возвратной тары. Огромный объем пустых контейнеров перевозится транспортными средствами, что приводит к неоправданным расходам на топливо, трудовые ресурсы, амортизацию транспортных средств, вызывает загруженность дорог, оказывает огромное влияние на экологию.

В крупных грузообразующих пунктах, таких как грузовые терминалы морских портов, компаниям часто удается избежать порожнего пробега контейнеров при условии достаточно эффективной работы логистических служб. Однако эта задача в условиях урбанизированной среды решается довольно трудно или не решается вообще, так как немногие объекты городской инфраструктуры могут одновременно служить и грузообразующими, и грузопоглощающими пунктами, не говоря о частных лицах, которым нужно доставить их собственный груз из пункта А в пункт Б. При выполнении таких заказов на перевозку обратный пробег загрузить практических невозможно. Это в значительной мере снижает эффективность контейнерных перевозок несмотря на их неоспоримые положительные стороны.

Теоретическая часть. Идея складных контейнеров для повышения эффективности перевозок сама по себе не нова. В мире такие контейнерные системы уже работают [1–6]. Например, складывающийся в вертикальной плоскости контейнер марки Staxxon или складывающийся в горизонтальной плоскости пластиковый контейнер Cargoshell [7]. Имеются и отечественные разработки [8]. Их преимущества при перевозке порожними очевидны. Но они обладают одним общим существенным недостатком: для их складывания и раскладывания необходимо дополнительное подъемно-транспортное оборудование (краны или погрузчики). Это снижает эффективность и применимость данной технологии.

Но современный мир — это мир умных вещей, которые с помощью умных людей учатся делать без посторонней помощи.

Возникла идея научить автомобильный складной контейнер складываться и раскладывать без постороннего оборудования, а также общаться с внешним миром в режиме реального времени с выдачей информации о своем местонахождении, состоянии груза, возможных нарушениях условий перевозки, сигналов при открытии или закрытии дверей и многих других параметров. При этом с помощью специального оборудования (мягких контейнеров) умный контейнер сможет перевозить не только тарно-штучные грузы, но и насыпные или жидкие, что существенно расширит сферу его использования.

Разумеется, такая умная вещь не может существовать сама по себе. Для ее успешного применения нужна поддержка мобильных и веб-приложений, серверов, облачных технологий, а также необходим алгоритм использования умного контейнера в этой системе с применением автомобильного транспорта, и алгоритм работы автомобильного транспорта с учетом взаимодействия всех участников процесса и дискретно изменяющихся состояний этих элементов системы (рис. 1) [9]. В качестве подвижного состава здесь рационально будет использовать автомобили-самопогрузчики с кранами-манипуляторами соответствующей грузоподъемности.

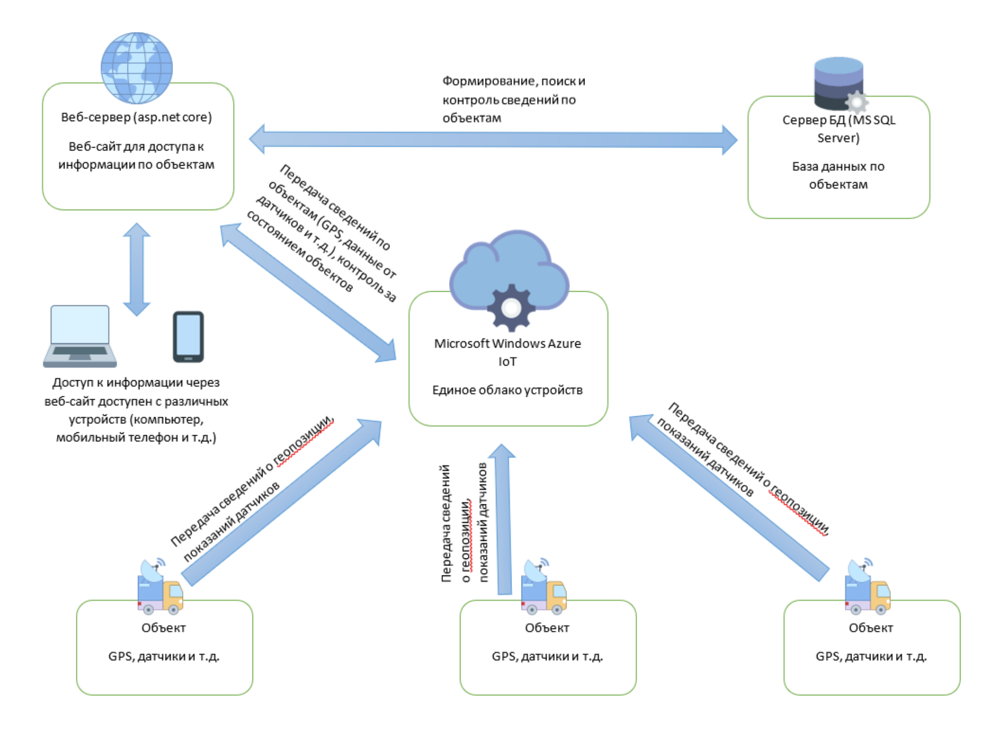


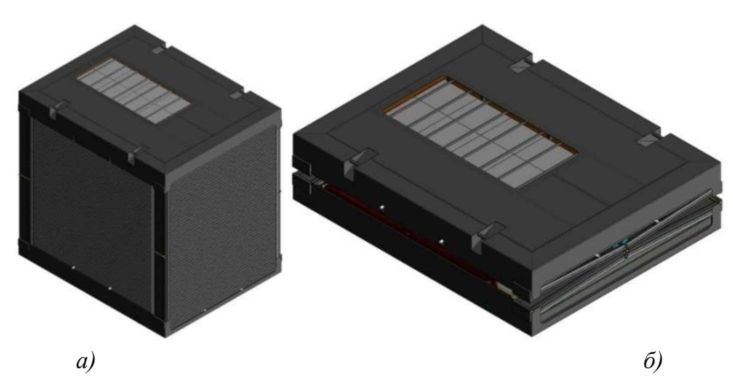
Рис. 1. Схема функционирования системы «умный контейнер»

Теперь рассмотрим, что же нужно для реализации такой идеи. Во-первых, сама конструкция контейнера из ранее разработанных или созданная вновь [8]. Во-вторых, система привода механизмов складывания и раскладывания контейнера. Это могут быть электродвигатели или такая интересная реализация возвратно-поступательного перемещения, как электрический линейный актуатор. Это самые дорогостоящие части умного контейнера.

И, самое интересное, что будет служить «мозгами» данной умной вещи. Вариантов сейчас множество: от микроконтроллеров Arduino (Uno, Mega, Nano) и снабженных Wi-fi и Bluetooth плат ESP (8266 и ESP 32) с ценой в несколько сотен рублей, до продвинутых Raspberry Pi от компании Microsoft и некоторых подобных разработок со стоимостью в несколько тысяч рублей. «Думать» эти микроконтроллеры заставляет специальная микропрограмма (называемая «скетч»), записанная в постоянную память микроконтрolллера на одном из поддерживаемых платой языков. Есть технология создания таких программ без использования языкового кода на основе применения готовых блоков в графической среде (программы Flprog, XOG и т. п.).

Также понадобятся самые разнообразные датчики (тензодатчик, температуры, влажности, положения, удара, герметичности и прочие) и вспомогательные элементы (стабилизаторы и делители напряжения, реле, драйверы двигателей и тому подобное).

В итоге после разработки и соединения всех аппаратных и программных частей системы воедино мы получаем пакетный продукт, состоящий из самих умных контейнеров (рис. 2), мобильных приложений для водителей автомобилей и пользователей (заказчиков перевозок) с функцией управления контейнером и интернет-сайта с функционалом расчёта стоимости перевозки, оформления и оплаты заявки на перевозку.



а) *б)*

Рис. 2. Общий вид умного контейнера в рабочем (разложенном) (а) и транспортном (собранном) (б) положении

Предлагаемая система получила название SmarBoxCity [10], и планируется старт продаж первых экземпляров в 2020 году.

Далее необходимо выполнить оценку снижения негативного влияния транспорта на экологию города при внедрении пакетного продукта SmarBoxCity.

Для оценки снижения негативного влияния автомобильного транспорта на экологию при внедрении пакетного продукта SmarBoxCity выполним сравнительный расчет количества выбрасываемых загрязняющих веществ при выполнении одного и того же объема перевозок с использованием обычных контейнеров и предлагаемых контейнеров-трансформеров.

В качестве транспортного средства для сравнительного анализа выберем КамАЗ 65117 с краном-манипулятором Ferrari 726.

Предположим, что необходимо перевезти тарно-штучный груз, занимающий четыре среднетоннажных контейнера на расстояние 10 км между грузоотправителем и грузополучателем. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета экологической эффективности SmarBoxCity

Параметры транспортной системы	**Варианты**	
	Обычные контейнеры	***SmarBoxCity***
Марка автомобиля	КамАЗ 65117 с КМУ Ferrari 726	
Количество контейнеров, шт.	4	4
Количество автомобилей, шт.	2	2
Расстояние перевозки, км	10	10
Нулевое плечо, км	5	5

Количество загрязняющих веществ, выделяющихся на единицу мощности двигателя, определим по зависимостям, представленным в табл. 2 [11].

Таблица 2

Зависимости для расчета эмиссии загрязняющих веществ дизельным двигателем

ЗВ	**Диапазон изменения относительной мощности $\overline{N}$**	**Концентрация, c_i, г/м^3**
CO	0–1,0	$5{,}6754\overline{N}^4 - 11{,}758\overline{N}^3 + 9{,}9078\overline{N}^2 - 3{,}5046\overline{N} + 0{,}7996$
NO_x	0–1,0	$4{,}2667\overline{N}^4 - 19{,}2\overline{N}^3 + 18{,}933\overline{N}^2 - 1{,}2\overline{N} + 0{,}7$
C	0–1,0	$-1{,}332\overline{N}^4 + 2{,}7531\overline{N}^3 - 1{,}5837\overline{N}^2 + 0{,}3629\overline{N} + 0{,}0194$
$C_{20}H_{12}$	0–1,0	$2{,}4308\overline{N}^2 - 0{,}8536\overline{N} + 0{,}4121$, мкг/м^3

Средняя скорость перевозки в урбанизированной среде [11]

$$v_{jг} = 0{,}4467 \cdot 1{,}8665 v, \qquad (1)$$

где v – средняя скорость потока транспорта, м/с.

$$v_{jг} = 0{,}4467 \cdot 1{,}8665 \cdot 4{,}24 = 3{,}53 \text{ м/с.}$$

Массовый расход M_i, г/с, i-го ЗВ [11]

$$M_i = Q_{Oг} c_i, \qquad (2)$$

где $Q_{\text{ОГ}}$ – объемный расход выхлопных газов, м^3/с;

c_i – концентрация i-го поллютанта в выхлопных газах, г/м^3.

Объемный расход выхлопных газов [11]

$$Q_{Oг} = 0,0007v^2 - 0,0256v + 0,3184, \quad (3)$$

$$Q_{Oг} = 0,0007 \cdot 3,53^2 - 0,0256 \cdot 3,53 + 0,3184 = 0,237 \text{ (м}^3\text{/с).}$$

Относительная мощность двигателя определяется из уравнения [11]

$$\bar{N}N_{ном} = \frac{\left[k_ф \rho_в F_s v_j^{\,2} + mg\cos\gamma\left(f \pm tg\gamma\right) \pm \delta_{вр} am\right] v_j}{\eta_{тр}}, \quad (4)$$

где $\bar{N}N_{ном}$ – эффективная мощность двигателя ($N_{ном}$ – номинальная мощность двигателя, Вт), Вт;

$k_ф$ – коэффициент обтекаемости;

$\rho_в$ – плотность воздуха, $\rho_в$ = 1,293 кг/м^3;

F_s – площадь лобовой поверхности грузовика, м^2 (принимаем F_s =7,5 м^2);

m – масса снаряженного грузовика, кг (принимаем m = 25900 кг);

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

f– коэффициент сопротивления качению, принимаем f = 0,02;

$\delta_{вр}$ – коэффициент учета вращающихся масс;

a – ускорение автомобиля, м/с;

$\eta_{тр}$ – механический КПД трансмиссии.

Выражение $\delta_{вр}a$ определяется как [11]

$$\pm\delta_{вр}a = g\left(0,5502v^{-1,11} - \Psi\right), \quad (5)$$

где Ψ – коэффициент приведенного сопротивления дороги, $\Psi = 0,02$.

$$\delta_{вр}a = 9,87\left(0,5502 \cdot 3,53^{-1,11} - \Psi\right) = 1,142.$$

Механический КПД трансмиссии определяется как [11]

$$\eta_{тр} = -1,3238\bar{N}^3 + 1,118\bar{N}^2 - 0,031\bar{N} + 0,8755. \quad (6)$$

Итак, из уравнения (4) получим

$$\bar{N} = \frac{\left[0,45 \cdot 1,293 \cdot 7,5 \cdot 3,53^2 + 25900 \cdot 9,87 \cdot 1 \cdot 0,02 + 1,142 \cdot 25900\right] \cdot 3,53}{154000(-1,3238\bar{N}^3 + 1,118\bar{N}^2 - 0,031\bar{N} + 0,8755)}. \quad (7)$$

Получим четыре корня, из которых действительный $\bar{N} = 0,351$.

Тогда для КамАЗ 65117

$c_{NO_x} = 4,2667 \cdot 0,351^4 - 19,2 \cdot 0,351^3 + 18,933 \cdot 0,351^2 - 1,2 \cdot 0,351 + 0,7,$

$c_{NO_x} = 1,846$ г/м^3;

$c_{CO} = 5,6754 \cdot 0,351^4 - 11,758 \cdot 0,351^3 + 9,9078 \cdot 0,351^2 - 3,5046 \cdot 0,351 + 0,7996,$

$c_{CO} = 0,368$ г/м^3;

$c_C = -1,332 \cdot 0,351^4 + 2,7531 \cdot 0,351^3 - 1,5837 \cdot 0,351^2 + 0,3629 \cdot 0,351 + 0,0194,$

$c_C = 0,051$ г/м^3;

$c_{C_{20}H_{12}} = 2,4308 \cdot 0,351^2 - 0,8536 \cdot 0,351 + 0,4121,$

$c_{C_{20}H_{12}} = 0,412$ мкг/м^3.

Таким образом, массовый расход поллютантов единичным транспортным средством

$M_{NO_x} = 0,237 \cdot 1,846 = 0,4375$ г/с;

$M_{CO} = 0,237 \cdot 0,368 = 0,0872$ г/с

$M_C = 0,237 \cdot 0,051 = 0,0121$ г/с;

$M_{C_{20}H_{12}} = 0,237 \cdot 0,412 = 0,0976$ мкг/с.

Массовый расход загрязняющих веществ автомобилями, участвующими в процессе, определится как [11]

$$\sum M_{ijk} = M_{ijk} \cdot m \cdot L / \upsilon , \qquad (8)$$

где m – количество автомобилей, участвующих в процессе, шт.;

L – суммарный пробег для выполнения перевозок, км.

Произведем расчет пробега автомобилей для сравниваемых вариантов и определим массовую эмиссию загрязняющих веществ в процессе осуществления доставки.

По традиционной контейнерной схеме на каждый автомобиль в пункте базирования контейнеров грузится по одному порожнему контейнеру. Поскольку автомобилей два на четыре контейнера, то им придется сделать по две нулевых ездки (от места складирования до грузоотправителя). После загрузки контейнеров понадобится выполнить по одной ездке с каждым загруженным контейнером из четырех.

По схеме с применением контейнеров-трансформеров один автомобиль может перевозить до четырех сложенных контейнеров, то есть столько, сколько и требуется грузоотправителю. Таким образом, они могут быть доставлены до места загрузки одним рейсом. Загруженные контейнеры-трансформеры перевозятся так же по одному на автомобиле, как и традиционные.

Исходя из приведенных выше рассуждений, заполним табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета экологической эффективности SmarBoxCity

Параметры	**Варианты**	
	Обычные контейнеры	***SmarBoxCity***
Пробег суммарный для выполнения задания на перевозку, км	55	45
Массовый расход:		
NO_x, г	13633,14	11154,39
CO, г	2717,28	2223,23
C, г	377,05	308,50
$C_{20}H_{12}$, мкг	3041,36	2488,39

По данным табл. 3 видно, что применение пакетного продукта SmarBoxCity позволяет снизить эмиссию вредных веществ в окружающую среду на 18,2%.

Выводы. Новый пакетный продукт на рынке транспортно-логистических услуг в урбанизированной среде под названием SmarBoxCity является уникальным и не имеющим полных аналогов продуктом четвертой технологической революции. Его внедрение позволяет повысить экологическую безопасность перевозок за счет снижения эмиссии загрязняющих веществ на 18,2%. Безусловно, ожидается существенная технологическая и экономическая эффективность данного пакетного продукта.

Их всесторонняя оценка является задачей дальнейших исследований.

Библиографическийсписок

1. Gusah, L. A systems analysis of empty container logistics — a case study of Melbourne, Australia / L. Gusah, R. Cameron-Rogers, R. G. Thompson // Transportation Research Procedia — Volume 39, 2019, P. 92–103 — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146519300997.

2. Zhang, R. Range-based truck-state transition modeling method for foldable container drayage services / R. Zhang, H. Zhao, I. Moon // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review — Volume 118, October 2018, P. 225–239. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554518302576.

3. Shintani, K., Konings, R., Imai, A., 2010. The impact of foldable containers on container fleet management costs in hinterland transport. Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev. 46 (5), 750–763. http://refhub.elsevier.com/S1366-5545(18)30257-6/h0100

4. Zhang, R., Lu, J.-C., Wang, D., 2014. Container drayage problem with flexible orders and its near real-time solution strategies. Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev. 61 (1), 235–251. http://refhub.elsevier.com/S1366-5545(18)30257-6/h0170

5. Zhang, R., Yun, W.Y., Kopfer, H., 2015. Multi-size container transportation by truck: modeling and optimization. Flex. Serv. Manuf. J. 27 (2), 403—430. http://refhub.elsevier.com/S1366-5545(18)30257-6/h0175

6. Funke, J., Kopfer, H., 2016. A model for a multi-size inland container transportation problem. Transp. Res. PartE: Logist. Transp. Rev. 89, 70–85.

7. Складные контейнеры — спасение для морских перевозчиков? [Электронный ресурс] / Логист Today. — Режим доступа: https://logist.today/dnevnik_logista/2019-08-20/ skladnye-kontejnery-spasenie-dlja-morskih-perevozchikov (дата обращения: 01.04.2020).

8. Патент 2672998 Российская Федерация, B65D 88/524. Складной грузовой контейнер [Текст] / Петров О. А., Евстратов Е. М., Короткий А. А. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Парус» (РФ, Ростов-на-Дону). — № 2017136697, заявл. 17.10.2017; опубл. 21.11.2018, бюл. № 33.

9. Гальченко, Г. А. Информационно-коммуникационная логистическая система для оптимизации транспортных маршрутов в урбанизированной среде / Г. А. Гальченко, А. А. Короткий, В. В. Иванов // Вестник Брянского государственного технического университета. — 2018. — № 4 (65). — С. 63–67.

10. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. Российская Федерация. Программа имитации контейнера-трансформера SmartBoxCity для транспортно-логистических услуг в условиях урбанизированной среды / А. А. Короткий, А. А. Масленников, Д. А. Яковлева и др; правообладатель ООО «Мысль», г. Новочеркасск, Ростовская область. — № 2020613286; дата регистрации 12.03.2020.

11. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха : приказ Министерства природы и экологии Российской Федерации от 27 ноября 2019 года № 804 [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. — Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/564062468 (дата обращения: 10.04.20).

Сдана в редакцию 15.05.2020
Запланирована в номер 07.07.2020

Об авторах:

Короткий Анатолий Аркадьевич, заведующий кафедрой «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9446-4911, korot@novoch.ru

Николаев Николай Николаевич, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2087-0233, nnneks@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

А. А. Короткий — научное руководство, формирование основной концепции, формулирование цели и задач исследования, доработка текста, корректировка выводов; Н. Н. Николаев — анализ результатов исследований, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов.

Submitted 15.05.2020
Scheduled in the issue 07.07.2020

Authors:

Korotkiy, Anatoliy A., Head, Department of Operation of Transport Systems and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Dr. Sci., Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9446-4911, korot@novoch.ru

Nikolaev, Nikolay N., Associate professor, Department of Operation of Transport Systems and Logistics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Cand. Sci., Associate professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2087-0233, nnneks@yandex.ru

Contribution of the authors:

A. A. Korotkiy — scientific supervision, formulation of basic concepts, goals and objectives of the study, revision of the text, conclusion correction; N. N. Nikolaev — analysis of research results, calculations, preparation of text, conclusions.